

УДК 620.19

В. В. Муравьев, Л. В. Волкова, А. В. Платунов, А. В. Байтеряков

Ижевский государственный технический университет,

г. Ижевск

АКУСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ СТРУКТУРНОГО И НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ РЕЛЬСОВ

В статье представлены экспериментальные результаты измерений механических напряжений в отрезке рельса Р65. Проведено сравнение с теоретической оценкой напряжений, возникающих при температурном воздействии на закрепленном рельсе и результаты моделирования сжимающих напряжений. Исследовано изменение уровня структурных шумов в отрезках рельсов до и после эксплуатации.

Ключевые слова: акустоупругость, механические напряжения, структура, рельсы.

V. V. Murav'ev, L. V. Volkova, A. V. Platunov, A. V. Bajterjakov

ACOUSTIC METHODS FOR EVALUATING STRUCTURAL AND STRESS-STRAIN STATE OF THE RAILS

In paper presents the results of experimental measurements of mechanical stresses in the rail segment of P65. Compare performed the theoretical estimate of the stresses arising from the effects of temperature on the fixed rail with the simulation results of compressive stresses. The changes studied in the noise level of structural segments of the rails before and after the exploitation.

Keywords: acoustoelastic, mechanical stresses, structure, rails.

Введение

Остаточные напряжения в железнодорожных рельсах, возникают в процессе производства после прокатки, термической обработки и правки рельса. При эксплуатации рельса они изменяются в результате упругой и пластической деформации от контактного взаимодействия колеса с рельсом при многократном воздействии поездной нагрузки. Кроме того закрепленные рельсы подвергаются воздействию сжимающих напряжений в жаркую погоду и растягивающих в холодную погоду.

Поэтому измерение уровня остаточных и температурных напряжений, а также структурного состояния, чрезвычайно важно [1; 2]. Использование уровня акустических структурных шумов в качестве информативного параметра дает возможность получить новые сведения о структурном состоянии металла в рельсах [3].

Моделирование температурных напряжений

Известно, что рост температуры на 1 °С приводит к росту напряжений примерно на 2,5 МПа. Расчетные нагрузки, возникающие в рельсе при температурных воздействиях на путь в диапазоне от 20 °С до 38 °С, при условии равномерного распределения тепла в плети и её закреплении при 20 °С лежат в пределах от 0 до –50 МПа. Продольная растягивающая сила в указанном интервале изменяется от 0 до 400 кН, а нереализованное приращение длины в 1000 метровой плети составляет около 200 мм.

С целью оценки сжимающих напряжений, возникающих при повышении температуры, было проведено моделирование в среде ANSYS с приложением продольной нагрузки от 0 до 25 тонн к отрезку рельса Р65 длиной 250 мм. Данная нагрузка соответствует напряжениям, возникающим в закреплённом рельсе при температуре около 30°С. Получено, что изменение нагрузки в 20 кН приводит к изменению напряжений в 4 МПа.

Электромагнитно-акустический способ оценки напряжений

Среди известных методов оценки остаточных напряжений наиболее перспективным является ультразвуковой метод на основе акустоупругого эффекта. Он заключается в зависимости скорости распространения ультразвуковых волн от уровня напряженного состояния металла. Для оценки напряжений в рельсе используются две поперечные волны, поляризованные перпендикулярно и вдоль оси рельса и распространяющиеся между головкой рельса и его подошвой. Учитывая анизотропию и первоначальные остаточные напряжения можно рассчитать напряженное состояние по формуле:

$$\sigma = D \left(\frac{t_1}{t_2} - 1 \right). \quad (1)$$

где D – коэффициент упруго-акустической связи для исследуемого материала, t_1, t_2 – время распространения по высоте рельса двух поляризованных волн.

Для исследований напряженного состояния в отрезке рельса использован электромагнитно-акустический структуроскоп СЭМА, который включает в себя генератор электрических импульсов, электромагнитно-акустический (ЭМА) преобразователь, усилитель и плату АЦП, встроенную в ЭВМ, на экране которого отражается осциллограмма отраженных импульсов (рис. 1, а). ЭМА преобразователь устанавливается на легко доступную поверхность головки или шейки рельса. Измерения могут быть выполнены на рельсах разной высоты и разных марок от Р50 до Р75 с погрешностью измерения разности времен прихода импульсов $\Delta t = \pm 2$ нс.

По разнице времен прихода импульсов поперечных волн t_1 и t_2 (рис. 1, б), поляризованных в поперечной и продольной плоскостях одного участка рельса, можно вычислить значения напряжений σ по формуле (1).

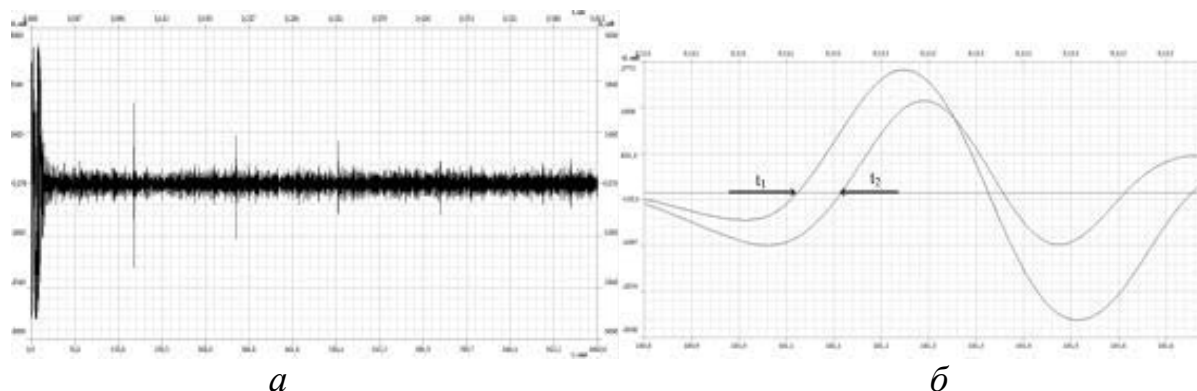


Рис. 1. Осциллограмма донных импульсов (а), разность времен прихода импульсов (б)

Ввод и прием поперечных волн осуществляется бесконтактным электромагнитно-акустическим (ЭМА) преобразователем [4].

Результаты измерений остаточных напряжений

Экспериментальная оценка механических напряжений проводилась на образце нового рельса Р65 длиной 250 мм. Образец подвергался сжатию на машине Instron 300DX с нагрузками от 0 до 247 кН. Оценка остаточных напряжений проводилась с использованием структуроскопа СЭМА с установкой излучающего и приемного преобразователя по центру головки рельса. Результаты измерений приведены на рис. 2.

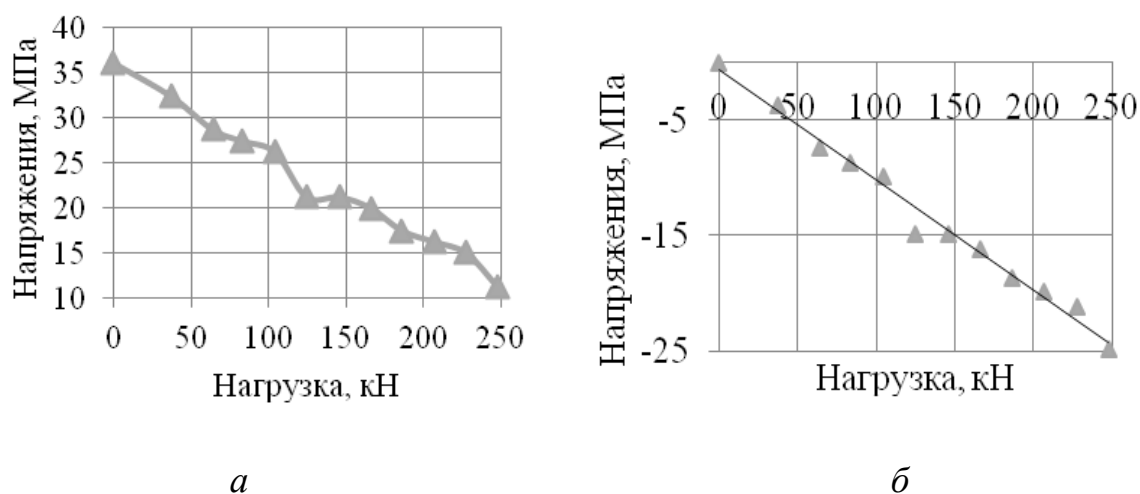


Рис. 2. Зависимость измеренных напряжений от величины нагрузки с учетом начальных напряжений (а), с вычетом начальных напряжений (б)

Начальные напряжения при нулевой нагрузке в отрезке рельса составляют от 34 до 37 МПа. С ростом сжимающих нагрузок наблюдается уменьшение растягивающих напряжений в рельсе и рост сжимающих. Увеличение нагрузки на 20 кН приводит к увеличению сжимающих напряжений на 4 МПа при погрешности измерения напряжений 2 МПа. Имеет место удовлетворительное совпадение результатов численного расчета и эксперимента. Некоторое расхождение расчетных и экспериментальных зависимостей может быть объяснено неоднородностью по сечению рельса напряжений, встречающихся на пути ультразвуковых лучей, и компенсирующим действием на нагрузку начальных напряжений. При этом суммарную погрешность можно оценить величиной 5 МПа.

Оценка структурных шумов в головке рельсов

Для оценки различий структурного состояния металла в головке проведен эксперимент по оценке уровня структурных шумов двух рельсов (2013 года изготовления): после эксплуатации 40 млн тонн брутто и без эксплуатации. Измерения проведены на поверхности катания головки рельсов наклонным раздельно-совмещенным преобразователем П122-5,0-65-8-М с шагом 5 мм от края среза рельса.

Для возбуждения и регистрации ультразвуковой волны в объекте контроля использован ультразвуковой дефектоскоп ДУК-66. Для оцифровки и

сохранения файлов данных измерений, к дефектоскопу подключен цифровой осциллограф Rigol. Осциллограмма полученного сигнала условно делится на 3 области [3]: область зондирующего импульса; область пролаза рэлеевской волны; зона структурных шумов.

Выбранный временной отрезок от 20 до 55 мкс для оценки структурного шума соответствует времени прохождения волной пути от верхней поверхности головки рельса до нижней части головки рельса и обратно. Временная область дальше указанной будет содержать мешающие переотраженные ультразвуковые волны от галтельного перехода головки рельса в шейку.

В результате эксперимента на каждом рельсе для набора статистики проведено по 13 измерений. Далее в программной среде *MathCAD* был определен средний уровень структурных шумов U_{SN} [5] и уровень пролаза рэлеевской волны U_R для каждого измерения.

Для отстройки от качества акустического контакта ультразвукового преобразователя с поверхностью рельса рассчитано по 15 измерениям отношение структурный шум – пролаз рэлеевской волны U_{SN}/U_R , которое составило для нового рельса 0,15, для рельса после эксплуатации 0,22. Разница уровня структурных шумов объясняется наличием накопленной поврежденности в головке старого рельса в результате длительной эксплуатации.

Выводы

Использование ЭМА преобразователя позволяет отстроиться от акустического контакта, а повторные измерения могут быть произведены в выбранных местах рельса без дополнительных временных затрат на подготовку поверхности. Увеличение нагрузки на 20 кН приводит к увеличению сжимающих напряжений на 4 МПа при погрешности измерения напряжений 2 МПа. Имеет место удовлетворительное совпадение результатов численного расчета и эксперимента.

Уровень структурных шумов у старого рельса превышает уровень структурных шумов в новом рельсе. Разница структурных шумов объясняется

наличием накопленной поврежденности в головке старого рельса в результате длительной эксплуатации.

Работа выполнена по проекту № 3.751.2014/К ГЗ Минобрнауки РФ.

Список литературы

1. Муравьев В. В. Взаимосвязь скорости ультразвука в сталях с режимами их термической обработки // Дефектоскопия. – 1989. – № 2. – С. 66–68.
2. Смирнов А. Н., Муравьев В. В., Фольмер С. В. Структурно фазовое состояние и ресурс длительно работающего металла технических устройств опасных производственных объектов, перспективы дальнейшего развития методов оценки работоспособности // Контроль. Диагностика. – 2009. – № 1. – С. 22–32.
3. Определение размера зерна металла по акустическим структурным шумам / В. В. Муравьев [и др.] // Известия ВУЗов. Черная металлургия. - 2014. – Том 57. - Вып. 11. - С. 65–69.
4. Электромагнитно-акустический преобразователь : патент РФ на полезную модель № 134658 от 31.05.2013 / В. В. Муравьев, О. В. Муравьева, В. А. Стрижак, А. В. Пряхин, Е. Н. Балобанов.
5. Устройство для определения среднего диаметра зерен металлических изделий : патент на полезную модель № 138625 от 10.12.2013 / В. В. Муравьев, О. В. Муравьева, А. Ю. Котоломов, А. И. Дедов, А. В. Байтеряков.